



**Bescheinigung**

**Certificate**

**Attestation**

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten internationalen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the international patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet international spécifiée à la page suivante.

Den Haag, den  
The Hague,  
La Haye, le

05. 12. 2003

Der Präsident des Europäischen Patentamts  
Im Auftrag  
For the President of the European Patent Office  
Le Président de l'Office européen des brevets  
p. o.

E. Speiser

Patentanmeldung Nr.  
Patent application no.  
Demande de brevet n°

PCT/EP 02/06873



Anmeldung Nr.:  
Application no.: PCT/EP 02/06873  
Demande n°:

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
1. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH - Karlsruhe, Deutschland  
2. BOLOGA, Andrei - Karlsruhe, Deutschland (nur US)  
3. WÄSCHER, Thomas - Heidelberg, Deutschland (nur US)

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention: Anlage zum elektrostatischen Reinigen von Gas und Verfahren zum Betreiben derselben

Anmeldetag:  
Date of filing:  
Date de dépôt: 21. Juni 2002 (21.06.2002)

In Anspruch genommene Priorität(en)  
Priority(ies) claimed  
Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State: Deutschland  
Pays:

Tag:  
Date: 10. Juli 2001  
Date: (10.07.2001)

Aktenzeichen:  
File no. 101 32 582.7  
Numéro de dépôt:

Benennung von Vertragsstaaten : Siehe Formblatt PCT/RO/101 (beigefügt)  
Designation of contracting states : See Form PCT/RO/101 (enclosed)  
Désignation d'états contractants : Voir Formulaire PCT/RO/101 (ci-joint)

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques: Weitere Anmelder:

4. PAUR, Hanns-Rudolf - Karlsruhe, Deutschland (nur US)  
5. BAUMANN, Werner - Karlsruhe, Deutschland (nur US)

**Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN** Bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden.

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen:

**Regionales Patent**

- ☒ **AP ARIPO-Patent:** GH Ghana, GM Gambia, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, MZ Mosambik, SD Sudan, SL Sierra Leone, SZ Swasiland, TZ Vereinigte Republik Tansania, UG Uganda, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist
- ☒ **EA Eurasisches Patent:** AM Armenien, AZ Aserbaidtschan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **EP Europäisches Patent:** AT Österreich, BE Belgien, CH & LI Schweiz und Liechtenstein, CY Zypern, DE Deutschland, DK Dänemark, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden, TR Türkei und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **OA OAPI-Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben) .....

**Nationales Patent** (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben):

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> AE Vereinigte Arabische Emirate   | <input checked="" type="checkbox"/> GH Ghana .....                       | <input checked="" type="checkbox"/> MX Mexiko .....                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> AG Antigua und Barbuda            | <input checked="" type="checkbox"/> GM Gambia .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> MZ Mosambik .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> AL Albanien .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> HR Kroatien .....                    | <input checked="" type="checkbox"/> NO Norwegen .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> AM Armenien .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> HU Ungarn .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> NZ Neuseeland .....                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> AT Österreich .....               | <input checked="" type="checkbox"/> ID Indonesien .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> PL Polen .....                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> AU Australien .....               | <input checked="" type="checkbox"/> IL Israel .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> PT Portugal .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> AZ Aserbaidtschan .....           | <input checked="" type="checkbox"/> IN Indien .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> RO Rumänien .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegovina .....      | <input checked="" type="checkbox"/> IS Island .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> RU Russische Föderation .....           |
| <input checked="" type="checkbox"/> BB Barbados .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan .....                       | .....   |
| <input checked="" type="checkbox"/> BG Bulgarien .....                | <input checked="" type="checkbox"/> KE Kenia .....                       | <input checked="" type="checkbox"/> SD Sudan .....                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> BR Brasilien .....                | <input checked="" type="checkbox"/> KG Kirgisistan .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> SE Schweden .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> BY Belarus .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik ..... | <input checked="" type="checkbox"/> SG Singapur .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> BZ Belize .....                   | Korea .....  | <input checked="" type="checkbox"/> SI Slowenien .....                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> CA Kanada .....                   | <input checked="" type="checkbox"/> KR Republik Korea .....              | <input checked="" type="checkbox"/> SK Slowakei .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> CH & LI Schweiz und Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> KZ Kasachstan .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> SL Sierra Leone .....                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> CN China .....                    | <input checked="" type="checkbox"/> LC Saint Lucia .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> TJ Tadschikistan .....                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> CO Kolumbien .....                | <input checked="" type="checkbox"/> LK Sri Lanka .....                   | <input checked="" type="checkbox"/> TM Turkmenistan .....                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> CR Costa Rica .....               | <input checked="" type="checkbox"/> LR Liberia .....                     | <input checked="" type="checkbox"/> TR Türkei .....                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> CU Kuba .....                     | <input checked="" type="checkbox"/> LS Lesotho .....                     | <input checked="" type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago .....            |
| <input checked="" type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik .....    | <input checked="" type="checkbox"/> LT Litauen .....                     | .....   |
| <input checked="" type="checkbox"/> DE Deutschland .....              | <input checked="" type="checkbox"/> LU Luxemburg .....                   | <input checked="" type="checkbox"/> TZ Vereinigte Republik Tansania .....   |
| <input checked="" type="checkbox"/> DK Dänemark .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> LV Lettland .....                    | <input checked="" type="checkbox"/> UA Ukraine .....                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> DM Dominica .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> MA Marokko .....                     | <input checked="" type="checkbox"/> UG Uganda .....                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> DZ Algerien .....                 | <input checked="" type="checkbox"/> MD Republik Moldau .....             | <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika ..... |
| <input checked="" type="checkbox"/> EC Ecuador .....                  | .....  | .....   |
| <input checked="" type="checkbox"/> EE Estland .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> MG Madagaskar .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> UZ Usbekistan .....                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> ES Spanien .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische ..... | <input checked="" type="checkbox"/> VN Vietnam .....                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> FI Finnland .....                 | Republik Mazedonien .....  | <input checked="" type="checkbox"/> YU Jugoslawien .....                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich .....   | <input checked="" type="checkbox"/> MN Mongolei .....                    | <input checked="" type="checkbox"/> ZA Südafrika .....                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> GD Grenada .....                  | <input checked="" type="checkbox"/> MW Malawi .....                      | <input checked="" type="checkbox"/> ZW Simbabwe .....                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> GE Georgien .....                 | .....  | .....   |

Kästchen für die Bestimmung von Staaten, die dem PCT nach der Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind.

<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....
<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....

**Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen:** Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der im Zusatzfeld genannten Bestimmungen, die von dieser Erklärung ausgenommen sind. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (Die Bestätigung (einschließlich der Gebühren) muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehen.)

**Anlage zum elektrostatischen Reinigen von Gas und Verfahren  
zum Betreiben derselben**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage für die Reinigung industrieller Gase von darin enthaltenen festen und flüssigen Partikeln, wie sie beispielsweise bei der Müllverbrennung, Metallurgie, Chemie, überhaupt der Industrie vorkommen.

Das Ausfiltern vor allem mit Submikronpartikeln angereichertem Gas ist ein akutes praktisches Problem. Die niedrige Wirksamkeit der Gasreinigung mit derzeitigen Einrichtungen ist unbefriedigend.

Wenn überhaupt möglich, braucht das Entstauben von Gasen von Submikronpartikeln hohe Gasgeschwindigkeiten, das geschieht häufig mit Zyklonen - das sind Wirbel, in denen die Fliehkraft ausgenützt wird - und geht mit starkem Energieverbrauch einher. In elektrostatischen Abscheidern wiederum muss die Anzahl elektrischer Felder oder die Länge der Hochspannungselektroden oder der geerdeten Elektroden erhöht werden. Dies erhöht den Energieverbrauch für die elektrostatische Ladung der Partikel, aber auch die Baugröße der Gasreinigungsanlage. In feuchten Abscheidern bedeutet die Aufsammung von Submikronpartikeln eine Erhöhung des Sprühflüssigkeitsvolumens und verlangt eine hohe relative Geschwindigkeiten zwischen den Wassertropfen und der Gasströmung.

Für das Aufsammeln der Submikronpartikel werden unterschiedliche Mikroporenfilter, wie Keramik, Filtersäcke/-tüten, etc. verwendet (siehe US 4,029,482, US 3,999,964). Die Wirksamkeit der meisten dieser Anlagen ist durch die niedrige Geschwindigkeit des Gasstromes begrenzt. In vielen Einrichtungen führt die Aufsammung von Submikronpartikeln auch zu einem hohen Druckabfall, der den Energieverbrauch hoch hält. Auch ist pe-

riodisches oder kontinuierliches Reinigen der Filter mittels pneumatischer Pulse oder Auswaschen notwendig.

Die Aufsammlung von Submikronpartikeln kann durch Sättigung des Gases mit Wasserdampf verbessert werden. Die Wasserdampfkondensation auf Partikeln, Partikelladung in einem elektrischen Feld und ihre Entladung durch den Gasstrom wird beispielsweise in der US 4,222,748 oder FR 2,483,259 oder DE 2,235,531 oder CA 2,001,990 beschrieben.

Die bekannten technischen Lösungen haben mehrere Nachteile: Für das elektrische Laden der Partikel werden lange Anordnungen von Elektroden für eine Koronaentladung im Elektrodenzwischenraum gebraucht. Diese Elektrodensysteme benötigen Hochspannung und erzeugen eine nicht homogene Verteilung des elektrischen Feldes in der Ladezone. Letzteres garantiert nicht die wirksame elektrische Ladung der Partikel im Gas an allen Stellen des Elektrodenzwischenraums.

Ionisatoren werden ebenfalls für die elektrische Ladung von Partikeln eingesetzt. Das aber erfordert mehrere Ionisierungseinrichtungen, was die Gasreinigungsanlage komplex macht. Die Hochspannungsisolierer benötigen große Mengen an Druckluft und treiben damit den Energieverbrauch hoch.

Die Verwendung von wassergespülten Filtern oder Absorbern verbraucht große Mengen an Wasser für das Sprühen und erhöht den Druckabfall in der Gasreinigungsanlage.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anlage zur Gasreinigung bereitzustellen mit der das Reinigungsverfahren mit wesentlich verbessertem Wirkungsgrad durchgeführt werden kann.

Die Aufgabe wird durch eine Gasreinigungsanlage gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein damit durchgeführtes Verfahren gemäß den Verfahrensschritten des Anspruch V1 gelöst.

Die Anlage besteht aus drei zusammenhängenden Baugruppen, die an technisch zweckmäßigem Ort in die Gasleitung eingebaut sind, und zwar in Strömungsrichtung des Gases:

der ersten, dem ersten Rohrabschnitt 1, in dem die elektrostatische Ladeeinheit/-gruppe zur Erzeugung einer Koronaentladung untergebracht ist und sich im anschließenden Raum ein Raumladungsgebiet ausbildet, aus dem heraus im wesentlichen die gleichnamig geladenen Partikel an die Innenwand des Rohrabschnitts 1 über thermische Bewegung und Ladungsabstoßung gedrängt und dort neutralisiert werden,

dann der zweiten, dem zweiten Rohrabschnitt 2, in der das aus dem Raumladungsvolumen kommende Gas in einer Gruppe geerdeter Elektroden von den noch vorhandenen geladenen Partikeln befreit und die angelagerten elektrisch entladen werden,

schließlich der dritten, dem dritten Rohrabschnitt 3, in der die Filtereinrichtung eingebaut ist und darin das nur noch mit Restpartikeln versetzte Gas davon vollends befreit wird, um dann schließlich in die Umgebung ausgeleitet zu werden.

Die im ersten Rohrabschnitt 1 eingebaute elektrostatische Ladeeinheit ist in Strömungsrichtung folgendermaßen aufgebaut: Um den Umfang, entlang der Innenwand der Gasleitung sitzt zunächst ein Kollektor 110 zum Aufsammeln des an der Innenwand der Gasleitung herabfließenden Kondenswassers. Dann kommt die sich über den lichten Querschnitt der Gasleitung ausdehnende geerdete Elektrode in Form einer Platte, die, über den Querschnitt gleichmäßig verteilt, zur Achse der Gasleitung parallele Perforationen/Düsen hat. Jede Düse verjüngt sich in Strömungsrichtung über die Plattendicke zunächst konisch, geht

dann stetig in ein Ringgebiet über und weitet sich dann mit stetigem Übergang konisch. Über den lichten Querschnitt der Gasleitung schließt sich ein Hochspannungselektrodengitter 112 an, auf dem der Strömungsrichtung entgegengerichtete Elektroden 113 sitzen, die alle ein freies, spitz zulaufendes Ende haben und jeweils in eine der Düsen ragen. Die Elektroden können einerseits einzeln axial, d.h. parallel zur Achse des zugehörigen Rohrabschnitts und andererseits insgesamt lateral und axial mit dem Gitter 112 justiert werden. Das Hochspannungsgitter 112 wird über mindestens einebare Durchführungen in Position gehalten.

Die im zweiten Rohrabschnitt 2 eingebaute Gruppe geerdeter Elektroden 212 ist folgendermaßen aufgebaut:

Die Gruppe geerdeter Elektroden 212 ist ein Bündel Röhren, deren Längsachsen parallel zur Achse des Rohrabschnitts 2 liegen und diesen ausfüllen. Sie sind aus elektrisch leitendem oder nicht leitendem, jedoch gasinertem Material. Die Röhren berühren sich gegenseitig nicht. Sie werden über je eine durchlöchernte Platten an den beiden Stirnseiten und über mindestens eine dazwischen in Position und zueinander auf Distanz gehalten. Dieses Röhrenpaket wird von dem Rohrabschnitt 2 unmittelbar ummantelt. Die Lochstruktur der beiden Stirnplatten stimmt mit dem Querschnitt des Rohrbündels überein. Die Löcher in den Stirnplatten haben jeweils die lichte Weite der Rohre. Die mindestens eine Platte dazwischen hat dieselbe Lochstruktur, jedoch haben die Löcher eine lichte Weite vom Außendurchmesser der Rohre. Zudem hat diese dazwischen liegende Lochplatte oder haben diese dazwischen liegenden Lochplatten an ihrem Rand einen Bereich, mit dem sie nicht an der Rohrrinnenwand 2 anliegen, so dass dadurch ein zusammenhängendes Kammersystem besteht. Die beiden außen liegenden Kammern sind über je einen Stutzen in der Wand des Rohrabschnitts 2 an einen Kühlmittelkreislauf angeschlossen. Damit ist das Röhrenpaket kühlbar,

ohne dass das Kühlmittel mit dem noch partikelgeschwängerten Gas in Berührung kommen kann.

Das Röhrenpaket 212 steht mit seiner stromabwärtigen Stirn auf einem elektrisch leitenden Träger oder Gitter 211, der oder das über eine Ringkonsole 210 an der Wand des Rohrabschnitts 2 elektrisch leitend befestigt ist.

Die von der Rohrleitungswand 2 ins Innere geführte Wasserleitung ragt in das Zentrum auf die stromzugewandte Stirn des Röhrenpakets 212. Am Ende dieser sitzt ein Sprühkopf 220, der mit seiner Sprühachse auf der dortigen Achse der Rohrleitung 2 angebracht ist, und zwar in mindestens einer Entfernung zu der folgenden Gruppe den Querschnitt überdeckenden geerdeten Elektroden 212, dass beim periodischen Besprühen die exponierte Stirn der Elektrodenanordnung vollständig von dem Sprühkegel aus Wasser überdeckt wird. Mit diesem Sprühwasser 221 wird die Innenwand der Röhren 212 gespült, abgelagerte Partikel abgeschwemmt und aufgrund der Feuchtigkeit/Nässe und der damit auftretenden brauchbaren elektrischen Leitfähigkeit elektrisch neutralisiert und über die Auslassstutzen 232 teilweise abgeleitet.

Im dritten, stromabwärts folgenden Rohrabschnitt 3 ist die Einheit zur Filterung des durchströmenden Gases eingebaut. In ihm ist zunächst eine Rohrleitung, die von der Wand des Rohrabschnitts 3 bis auf die Achse geht und dann in Stromrichtung abknickt und auf der Achse in den von Filter zylindrische umgebenden Raum ragt. Dieser axiale Rohrteil geht durch einen Deckel 311, der auf der gasstromzugewandten Stirn des Filters sitzt und verhindert, dass der Gasstrom ungefiltert in das Innere des Filters eintreten kann. Im Endbereich der Rohrleitung sitzt mindestens ein Sprühkopf 322 zum Besprühen der gesamten Innenwand der zylindrischen Filtereinrichtung.

Der Filterdeckel 311, 312 besteht aus zwei konzentrischen Teilen und bildet im Zusammenbau eine ringförmige Wanne 324, deren Öffnungsring der Gasströmung zugewandt ist. In dieser Wanne wird Tropfwasser aus dem stromaufwärts davor liegenden Rohrabschnitt 2 aufgefangen und über einen Stutzen 319 abgeleitet.

Die Filtereinrichtung besteht aus einem rohrförmigen Gestell/Gehäuse/Käfig (323), um das mantelartig ein poröses Material 310 als eigentlicher Filter in mindestens einer Lage gelegt ist.

Zwischen der Innenwand des Rohrabschnitts 3 und der Außenwand der Filtereinrichtung besteht ein ringförmiger Freiraum, in den das noch mit Restpartikeln angereicherte Gas einströmt. Die Filtereinrichtung sitzt mit ihrer strömungsabgewandten Stirn auf einer ringförmigen, an der Wand des Rohrabschnitts 3 befestigten Konsole 314, die gleichzeitig mit der Wand des Rohrabschnitts 3 eine ringförmige Wanne zum Auffangen eines Teils des Sprühwassers 320 bildet, das über Stutzen 317 in der Wand des Rohrabschnitts 3 abgeleitet wird. Das mit Partikeln versetzte Gas muß somit durch das Filter, das mit seinem Deckel zwischen der strömungsabgewandten Konsole 314 und einer strömungszugewandten Konsole 313 eingespannt ist. Das durch das Filter gezwängte, und von Partikel befreite Gas tritt als gereinigtes Gas durch die ringförmige Konsole hindurch in die stromabwärts davor liegende Umgebung.

Die Situation im nebengeordneten Anspruch 2 unterscheidet sich von der in Anspruch 1 nur in der Ausgestaltung des zweiten Rohrabschnitts. In diesem besteht das Paket aus geordneten Elektroden (212) auch aus elektrisch leitendem oder elektrisch nicht leitendem Material, dann aber nur aus einem den Querschnitt des Rohrabschnitts 2 höchstens ausfüllenden Bündel paralleler Röhren 212, die ungeordnet stehen, also sich berühren

oder nicht. Dieses Röhrenpaket steht auf dem geerdeten Träger/Gitter 211 und ist dort positioniert verankert. Im Gegensatz zu der Ausführung nach Anspruch 1 werden die einzelnen Röhrenwände jetzt beidseitig beströmt, d.h. das hierin noch nachzureinigende Gas strömt durch die einzelne Röhre als auch daran außen vorbei. Die Ablagefläche für die Partikel und deren elektrische Neutralisation daran ist also erheblich, im besten Fall bei gegenseitig Nichtberührung doppelt so groß wie in dem Aufbau des Rohrabschnitts 2 nach Anspruch 1. Zwischen den Röhren 212 strömt kein Kühlmittel, da keine Kammern zur separaten Durchströmung bestehen, es wird also nicht gekühlt. Andererseits werden die Röhren außen und innen mechanisch nicht unterschiedlich belastet, können dadurch also extrem dünn gehalten werden. Es genügt, wenn die Wandstärke  $d_{ws}$  einer Röhre 212 in Bezug auf ihren Durchmesser  $D_2$  in dem Bereich  $0,01 D_2 < 0,1 D_2$  gehalten wird.

In den Unteransprüchen 3 bis 9 sind Maßnahmen beschrieben, die zweckmäßig sind und das Reinigungsverfahren weiter erleichtern:

Das Hochspannungsgitter 112 ist über eine Durchführung 117 oder mehr als eine, gleichmäßig um den Umfang des Rohrabschnitts 1 verteilte Durchführungen 117 an eine Hochspannungsquelle angeschlossen ist (Anspruch 3). Eine Durchführung oder alle können auch zur Aufrechterhaltung der Isolationsfestigkeit mit einem Sperrgas 116 durchströmt werden (Anspruch 4).

Die Oberfläche der Röhren 212 aus dem Paket von geerdeten Elektroden 212 ist außen und/oder innen vergrößert ist (Anspruch 5), um einerseits wirkungsvoller zu kühlen und andererseits innen mehr Ablagefläche zu haben (Ansprüche 6 und 7).

Zur wirksameren Ausscheidung der im Gasstrom mitgeführten Verunreinigungen ist in den Röhren je eine spiralige Einrichtung eingebaut, die das strömende Gas zu einer Wendelbewegung

zwingt, wodurch durch zentrifugale Kräfte erzeugt (Anspruch 8) werden.

Das am Boden der geerdeten Elektroden über den dortigen Träger teilweise an den Rand gelangte Abwasser wird ebenfalls abgeleitet und der Reinigung zugeführt (Anspruch 9), wie auch das über die Filterdeckel und über die ringförmige Konsole am Boden des Filters aufgefangene Abwasser, das massereicher anfällt.

Das Verfahren nach Anspruch 10 läuft nach den folgenden Schritten ab:

Vor dem Einleiten des Gases in die Einrichtung wird dasselbe gekühlt und mit Wasserdampf gesättigt.

Der Gasstrom 4 wird an einem Kondensatkollektor 110 vorbei durch eine mit Düsen mit jeweils einem engen Mittelstück versehene, geerdete Platte (111) gezwängt, um sich danach in einen jeweils konisch Öffnenden Ausgangsbereich der Düse in je einen Elektrodenzwischenraum, der aus dem jeweiligen Düsenausgang und einer dahineinragenden Hochspannungselektroden spitze (122) gebildet wird, zu expandieren, in dem Aerosolpartikel elektrostatisch geladen werden.

Ein Teil der elektrisch geladenen Aerosolpartikel aus dem Gasstrom werden unter Einwirkung einer Raumentladung im weiteren Bereich des Gasstromes durch elektrostatische Abstoßung zwischen den elektrisch geladenen Partikeln und der geladenen Aerosolablagerung auf den Innenwänden dieses Bereiches entladen.

Der Gasstrom wird durch ein System von hohlen, geerdeten Elektroden mit gleichzeitiger Ablagerung geladener Aerosole auf der vom Gasstrom berührten Oberfläche der geerdeten Elektroden geleitet. Dann wird der Gasstrom in den Ringbereich zwischen einer rohrförmigen Filtereinrichtung und der Wand der

Gasleitung durch den Filter aus einem porösen Material gedrückt, wobei die geladenen Partikel in dem Filtermaterial vom Filtermaterial abhängig mehr oder weniger vollständig abgelegt werden. Das so gereinigte Gas wird dann in die stromabwärts liegende Umgebung ausgeleitet. Die Filtereinrichtung wird kontinuierlich oder periodisch durch Besprühen aus den Sprühköpfen im Innern gewaschen, d.h. die im Filtergewebe abgelegten Partikel mit dem Sprühwasser ausgeschwemmt.

Weitere nützliche Verfahrensschritte sind:

Vor dem Eintritt des Gasstromes in das Paket geerdete Röhren wird derselbe im Vorraum mit Wasser besprüht (Anspruch 11).

Der durch das Paket der Röhren strömende Gasstrom wird über Durchströmen eines Kühlmittels durch den Röhrenzwischenraum gekühlt, weiter werden die geladenen Partikel, die sich auf der jeweiligen Röhreninnenwand ablagern über die periodische Bewässerung der Innenwände des Röhrenpakets von der stromzugewandten Stirnseite her entladen. Dadurch, dass dem Gasstrom in den geerdeten Röhren durch die jeweils eingebaute spiralige Einrichtung ein Drall oder eine Drehung verliehen oder aufgezwingt wird, werden die noch mitgeführten Partikel zusätzlich durch zentrifugale Kräfte nach außen und damit an die Innenwand gedrängt, die ankommenden abgelagert elektrisch neutralisiert und abgeschwemmt (Anspruch 13).

Die wirksame Gasreinigung wird bei niedrigem Druckabfall, geringer Energieverbrauch für die elektrostatische Ladung, ohne kontinuierliches Sprühen von Wasser für die Reinigung der geerdeten Elektroden erreicht, wobei kontinuierliches Sprühen ohne weiteres einstellbar ist.

Das modulare Bauprinzip der Einrichtung und die kleine Baugröße erlauben, sie zur Erweiterung bestehender Gasreinigungsanlagen zu verwenden und sie in ihrer Wirksamkeit der Gasrei-

nigung auf Submikronpartikel zu erweitern. Die Bauelemente sind aus leichten und hinsichtlich des zu reinigenden Gases aus korrosionsbeständigen Materialien gefertigt.

Die Rezyklisierung des Sprüh-/Schmutzwassers erlaubt, das Problem der Abwassererzeugung für die kommunale Kanalisation zu vermeiden, allenfalls bis auf eine unerhebliche Menge zu beschränken.

Die geerdete Elektrode/Platte mit ihren in ihr über die Stirnfläche gleichverteilten Düsen mit jeweils konisch verjüngendem Gaseingang und konisch aufweitendem Gasausgang bewirkt den Effekt der gesättigten Gasbeschleunigung und Expansion mit Wasserkondensation, was die Größe und die Anzahl geladener Partikel mit kleinerer Beweglichkeit erhöht. Das führt dann zu der Zone der Raumladung mit hoher Ladungsvolumendichte und sichert die Entladung von Partikeln durch die weitere Gasströmung an den geerdeten Bauelementen der Anlage.

Zusammengefasst hat die Anlage und das Verfahren zum Betreiben derselben folgende Vorteile:

- die Anlage ist modular aufgebaut;
- die Anlage hat kleine Dimensionen und geringes Gewicht;
- die Bauelemente sind aus für das rohe/ungereinigtes Gas aus korrosionsbeständigen Materialien;
- die effektive Reinigung des Gases von Submikronpartikeln;
- der Energieverbrauch zum elektrostatischen Laden der im Gas vorhandenen Partikel ist niedrig;
- der Druckabfall in der Anlage ist niedrig;
- permanentes Besprühen mit Wasser zum Reinigen der Elektroden und des Filters ist nicht notwendig;
- das aufgesammelte Abwasser aus den drei Rohrabschnitten der Anlage wird aufbereitet und wieder für das Verfahren in der Anlage verwendet.

Die Anlage wird im folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben. Die Zeichnung gibt mit den Figuren 1 bis 6 eine bevorzugte Ausgestaltung wieder. in der Figur 7 werden dann noch experimentelle Daten an Bekanntem reflektiert.

Es zeigt:

Figur 1 die Gesamtansicht im Schnitt,  
Figur 2 den Rohrabschnitt mit Ladeeinrichtung,  
Figur 3 die Perforationen/Düsen in der geerdeten Elektrode,  
Figur 4 die Hochspannungselektroden in der Ladeeinrichtung,  
Figur 5 den Rohrabschnitt mit geerdeten Hohlelektroden in zwei Bauweisen,  
Figur 6 das Beispiel einer geerdeten Elektrode,  
Figur 7 den experimentell ermittelten Verläufe der Konzentrationsverteilung der Partikel am Eingang und am Ausgang.

Die strömungszugewandte Stirnseite des Röhrenbündels 212 hat von der Hochspannungselektrode 112 der Ladeeinheit einen Abstand von 1, 5- bis 5mal dem Durchmesser D der geerdeten Elektroden platte. D, die lichte Weite der Gasleitung 1, bzw. 2, bzw.3, der Gasleitung mit dem zu reinigenden Gas überhaupt, liegt in einem Größenbereich, der mit dem Rohgasvolumenstrom, dividiert durch die zu D korrespondierende Fläche, eine Gasgeschwindigkeit zwischen 0,1 und 10 m/sec, vorteilhafterweise zwischen 0,5 und 2 m/sec, erlaubt. Das ist aus der Gasströmungstechnik bekannt. Daher wird die Dimension entsprechend des Anfalls und der Strömungsgeschwindigkeit festgelegt. Die Länge der geerdeten Elektroden 212, die Röhren 212 leitet sich aus dem entscheidenden Parameter D folgendermaßen ab:

$$0,5 D < L < 5 D.$$

Die Anlage zur elektrostatischen Reinigung von Gas/Gas besteht nach der schematischen Darstellung in Figur 1 aus dem in Strömungsrichtung ersten Rohrabschnitt 1 mit der elektrostatischen Ladeeinheit 1, dem anschließenden Rohrabschnitt 2 mit der

Gruppe geerdeter Elektroden 212, die aus einem Bündel Röhren 212 besteht, und schließlich dem dritten Rohrabschnitt 3 mit der Filtereinrichtung. Die Gasströmung wird durch den Pfeil 4 zu Beginn des ersten Rohrabschnitts 1 für den Eintritt des belasteten Rohgases und den Pfeil 5 für den Austritt des gereinigten Gases am Ausgang des dritten Rohrabschnitts angedeutet. Die Rohrabschnitte 1 bis 3 haben hier beispielsweise kreisförmigen Querschnitt, jedoch lässt sich die Anlage auch mit einem rechteckigen Querschnitt realisieren.

Stromaufwärts von der elektrostatischen Ladeeinheit 1 sitzt am Eintritt in die Anlage der ringförmige Kollektor 110 an der Innenwand zum Auffangen des an der Rohrleitungszuleitung zur runterlaufenden Kondensatwassers und damit zum Schutz der nachfolgenden elektrostatischen Ladeeinheit. Dieses aufgefangene Kondensatwasser wird über den Stutzen 118 zur Wiederaufbereitung abgeleitet.

Die geerdete Elektrode 111 der Ladeeinheit 1 ist eine die lichte Weite des Rohrabschnitts 1 abdeckende Platte 111 aus elektrisch leitendem Material, wie Graphit oder korrosionsbeständiges, mechanisch geeignetes Metall wie Edelstahl. Die Platte hat über den Querschnitt des Rohrabschnitts 1 gleichverteilte Düsen, in Strömungsrichtung gesehen, folgender Struktur:

Den konisch verjüngenden Eintritt 120, die hohlzylindrische Kompressionszone, die Taille, und dann den konisch sich weitenden Austritt 121. Die drei Einzelstrukturen, Eintritt, Taille, Austritt, reihen sich stetig hintereinander, der Ein- und Austritt sind gleich oder unterschiedlich lang, hier ist der Eintritt etwas kürzer. Die Anzahl Düsen und ihre Durchmesser hängen von den Bedingungen des technischen Prozesses, vom Volumen des zu reinigenden Gases, von den Bedingungen für die wirksame Ladung des Aerosols und dem minimalen Druckabfall in

der Ladungseinheit 1 ab. Andere Düsenformen sind, falls zumindest ähnlich leistungsfähig, ebenfalls geeignet.

Das mit Hochspannung beaufschlagbare Gitter 112 schließt sich, über den Querschnitt des Rohrabschnitts 1 ausdehnend, an. Es wird über die Durchführungen 115 oder um den Umfang gleichverteilte Durchführungen 115 gehalten, über die das Gitter 112 in Grenzen lateral verstellt werden kann. Eine der Durchführungen dient als Hochspannungsverbindung zwischen dem nicht eingezeichneten Netzgerät außerhalb und dem Gitter 112. Alle Durchführungen 115 werden über den Stutzen 11 daran mit Sperrgas 116 beströmt, um am Durchtritt der Durchführungen ins Innere elektrisch stets definierte Verhältnisse zu haben. Dieses Sperrgas 116 ist üblicherweise temperiert, muss aber bei dem Anlagenaufbau nicht zwingend sein.

Das Hochspannungsgitter 112 ist so grobmaschig wie möglich und daher mindestens Knoten in der Struktur der Düsenanordnung in der geerdeten Grundplatte 111, auf diesen zu den Düsen korrespondierenden Knoten sind die Elektroden 122 verschraubt und ragen dem Gasstrom entgegen. Je eine Elektrode 113 ragt mit ihrer freien Spitze 122 in den Austritt 121 einer Düse. Das Elektrodengitter 112 samt aufgesetzter Elektroden 113 ist axial und lateral verstell-/justierbar (siehe Figuren 1 bis 4). Das legt die Höhe der Vorentladungsspannung und die Stromdichte im Bereich des Elektrodenzwischenraumes, wo die Partikelladung stattfindet, fest. Die maximale Stromdichte bei minimal angelegter Hochspannung hängt mit der Lage der Spitzen 122 der Elektroden 113 im kritischen Querschnitt den Düsen zusammen. Die axiale Position der Elektrodenspitze 122 im konischen Auslauf 121 der Düse ist individuell einstellbar (siehe Figur 2). Stromabwärts an das Elektrodengitter 112 schließt sich die durch die ionisierten Partikel/Aerosole gebildete Raumladungsvolumen an, das sich vom Hochspannungsgitter 112

bis zu der von der Wand des Rohrabschnitts 2 hereinragenden Wand in seiner Länge erstreckt.

Der Rohrabschnitt 2 mit den geerdeten Elektroden 212 aus dem Bündel Röhren (siehe Figur 1 Mitte und Figur 5, Anordnung 2) ist stromabwärts vom Gitter 112 in einer Entfernung von 1,5 bis 5 D eingebaut, D der lichte Durchmesser der Gasleitung 1/2/3 und der oben erklärte charakteristische Dimensionsparameter der geerdeten Elektrode 111. Ein Beispiel für die Anordnung des geerdeten Röhrenbündels 212 ist in Figur 5 unten dargestellt. Die lichte Weite der Röhren 212 ist derart, dass eine laminare Gasströmung darin zustande kommt.

Die Röhren 212 als auch die Wände der Rohrabschnitte 1 bis 3 können aus leitendem, wie Graphit oder für den Prozess inerte Edelstahl, VA, oder nicht leitendem Material, wie PP, PVC, PVDF, GFK, sein, sie können starr oder flexibel sein. Als Material Die Anzahl und der Durchmesser der Röhrenelektroden 212 hängt von den Bedingungen ab, wirksame Sedimentation der geladenen Partikel auf den Elektrodeninnenwänden 212 zu gewährleisten und minimalem Druckabfall in der Röhrenanordnung einzuhalten.

Das Bündel der Röhren 212 ist zwischen zwei Lochplatten 213, deren Löcher die lichte Weite der Röhren 212 haben, derartig eingespannt, dass durch jedes Rohr 212 hindurch ein freier Durchgang besteht. Darüber hinaus ist hier das Röhrenbündel 212 durch drei weitere Lochplatten 222, deren Löcher eine lichte Weite gleich dem Außendurchmesser der Rohren 212 haben. Die drei Lochplatten 222 sind äquidistant zwischen den beiden äußeren Lochplatten positioniert und haben an einer Stelle des Randbereiches eine Einbuchtung, so dass ein Kammersystem zwischen den beiden Äußeren Lochplatten 213 zustande kommt, durch das Kühlmittel mäanderförmig durchgeströmt werden kann. Die beiden äußeren Kammern haben in der Wand des Rohrabschnitts 2 je einen Stutzen 215 und 217, durch die das Kühlmittel aus-

bzw. eingelassen wird und von der Außenwand der Röhren 212 Wärme aufnimmt. Diese Kühlung erhöht die Effektivität der Gasreinigung. Wird als Kühlmedium 214 Gas, z.B. Luft mit Umgebungstemperatur verwendet, kann die wärmere Abluft 216 als Isolationsluft/Sperrgas verwendet werden.

Das Röhrenbündel 212 mit den Lochplatten 213 und 222 sitzt mit seiner strömungsabgewandten Stirn auf dem Träger 211, der hier ein Gitter aus gewebeartig zueinander verlaufenden metallischen Drähten besteht. Diese gesamte Einrichtung liegt auf Erdpotential, bzw. ist geerdet.

Um die Wirksamkeit der Entladung der geladenen Partikel innerhalb des Rohrabschnitts 2 zu erhöhen, wird der Gasstrom gezwungen, zu rotieren. Er wird hier durch die in jede Röhre 212 eingebaute Spirale 229 zu einer Wendelbewegung gezwungen (siehe Figur 6). Die Spiralen 229 werden hier jeweils durch einen Stab 230 axial gehalten.

Der Sprühkopf 220 ist innerhalb der Gasführung zwischen der Ladegruppe 1 und der Gruppe 2 der geerdeten Elektroden 212 eingebaut. Der Sprühkopf ist derart eingebaut, dass der Sprühwasserkegel die strömungszugewandte Stirn des Röhrenbündels 212 bzw. die dortige Lochplatte 213 ganz überdeckt. Das intervallweise bzw. periodische Wassersprühen verringert die Gas-temperatur, gewährleistet die Befeuchtung und die Reinigung der inneren Oberfläche der geerdeten Röhren 212 und verbessert so die Aufsammlung geladener Aerosolpartikel. Das Wasser zum Sprühen wird durch die Leitung am Stutzen 219 herangeführt, an deren Ende der Sprühkopf 220 montiert ist. Natürlich kann auch kontinuierlich gesprüht werden.

Die Anordnung 1, in Figur 5 links, zeigt den Aufbau der Einrichtung zur Nachreinigung des Gases ohne die Kühlung des Röhrenpakets, weil keine Strömungskammern wie in Anordnung 2 be-

stehen, dafür aber die Röhren beidseitig von dem aus der Raumladungszone kommenden, nachzureinigenden Gas innen und außen angeströmt und die noch vorhandenen geladenen Partikel weitestgehend vollends abgelagert und elektrisch neutralisiert werden. In der Anordnung 1 können sich die Röhren 212 berühren. In der Anordnung 2 sollen sich die Röhren wegen der notwendigen Ausbildung von Strömungskammern mit Umströmung aller Röhren nicht berühren, allenfalls können sie sich sehr nahe kommen, so dass sie stets aber kühlmittelumströmt sind.

Stromabwärts im Rohrabschnitt 3 ist die Filtereinrichtung eingebaut. Das eigentliche Filtermaterial 310 ist aus porösem Material, das das rohrförmige, elektrisch leitende Gittergehäuse hohlzylinderförmig ummantelt. Der Außendurchmesser des Filterkäfigs 323 ist kleiner als der Innendurchmesser der Wand des Rohrabschnitts 3, damit besteht ein ringförmiger Zwischenraum. Auf der strömungszugewandten Stirn des Gittergehäuses 323 samt porösem Filtermaterial 310 sitzt der zentral offene Filterdeckel 311, der eine ringförmige Wanne 324 bildet, bündig auf. Der Filterdeckel 311 wird zentral mit dem Deckel 312 verschlossen, durch den zentral hindurch die vom Stutzen 321 in der Wand des Rohrabschnitts 3 kommende Wasserleitung hindurchgeht. Tropfwasser aus dem Gasstrom und von dem Gitter 211 wird darin aufgefangen und über den oder die gleichmäßig um den Umfang des Rohrabschnitts 3 vorhanden Stutzen 319 abgeleitet.

Der Filterkäfig 323 samt Filtermantel 310 steht auf dem Ring 315 und mit diesem in der von der ringförmigen Konsole 314 auf der strömungsabgewandten Seite am Ausgang des Rohrabschnitts 3 entlag der Innenwand und der Innenwand gebildeten Ringwanne. Mit dieser Konsole und über Streben von dem Deckel 312 zu den wenigsten drei um den Umfang gleichmäßig verteilten Konsolen 313 wird die eigentliche Filtereinrichtung zusammen und in Position gehalten. Durch diesen Filteraufbau in dem Rohrabschnitt 3 ist der Gasstrom gezwungen, allein über den ringförmigen

migen Zwischenraum durch den Filtermantel 310 zu treten und darin seine aufgesammelten Partikel abzuladen, um dann gereinigt aus dem Innern des Gittergehäuses zentral durch die ringförmige Konsole am Ausgang auszutreten.

Das über die Sprühköpfe im Endbereich der auf der Achse verlaufenden Leitung austretende Wasser berieselt die Innenwand des Filters und spült die darin abgelegten Partikel aus, die als Filtrat in der ringförmigen Wanne aufgesammelt werden. Dieses Filtrat wird über den Filtratauslaß 317 abgelassen.

In einem elektrischen Ersatzschaltbild lässt sich die Aufteilung des Ladegerätestroms  $I_{\text{lade}}$  in den über die geerdete Elektrode 111 aus hier Graphit fließenden Ionisierungsstrom  $I_{\text{erde}}$ , den neutralisierenden Strom  $I_{\text{aerosol I}}$  aus der Hauptabscheidung aus der Ladungszone im Rohrabschnitt 1, den neutralisierenden Strom  $I_{\text{aerosol II}}$  aus der Nebenabscheidung in dem Röhrenpaket 212 und dem neutralisierenden Strom  $I_{\text{aerosol III}}$  für die schließliche Restabscheidung im Filter 310/323 aufteilen, also (siehe Fig 1)

$$I_{\text{lade}} = I_{\text{erde}} + I_{\text{aerosol I}} + I_{\text{aerosol II}} + I_{\text{aerosol III}}.$$

Gute elektrische Kontaktierung muß in der Anlage bestehen, um die Reinigung wirkungsvoll und für die Anlage selbst ungefährlich zu halten.

Das Filtergehäuse 323 kann zylindrisch, rechteckig sein. Andere Geometrien sind, solange sie die Effektivität nicht beeinträchtigen, auch einsetzbar.

Die Einrichtung zur elektrostatischen Reinigung des Gases von flüssigen und/oder festen Submikronpartikeln kann von der Einrichtung zur Reinigung und dem wiedereingeleiteten Gebrauch des gereinigten, aufgesammelten Abwassers versorgt werden. Die Einrichtung zur Abwasserreinigung schließt Standardverfahren und Ausrüstung ein. Sie ist in Figur 1 nicht eingezeichnet.

Die Gasleitung kann ringförmigen oder rechteckigen Querschnitt haben. Eine andere Geometrie kommt auch in Frage, solange sie die Funktion in dieser Effektivität zulässt.

Experimentelle Untersuchungen wurden beispielsweise mit Gasen der Rate 320 m<sup>3</sup>/h aus der Verbrennung von Holz mit einer Durchsatzrate von 36 kg/h durchgeführt. Der Gasstrom wurde gekühlt und mit Wasserdampf gesättigt, bevor mit 50°C in die Einrichtung zur elektrostatischen Reinigung eingeleitet wurde. Die Partikel-Massenkonzentration betrug 40 - 60 mg/m<sup>3</sup>. Die Diagramme der Partikelkonzentration im stromaufwärtigen und stromabwärtigen Gasstrom zeigen, dass der Einsatz der Anlage und des Verfahrens zur Gasreinigung eine deutliche Abnahme der Submikronpartikeln-Konzentration im Gasstrom erreicht, und zwar 95 - 99%. Der Effekt wird bei niedrigem Energieverbrauch für die Partikelladung, etwa 30 - 50 W, und minimalem Druckabfall, < 300 Pa, und einer korrespondierenden Isolationsluftgebläseleistung von 15 W erreicht. Die Polarität der angelegten Spannung war negativ. Die Konturenmaße der Einrichtung sind: Höhe 1200 mm, Innendurchmesser 360 mm. Während des Experimentes wurde kein zusätzliche Wasser in den Gasstrom gesprüht. Die Selbstreinigung der geerdeten Elemente der Einrichtung bestand.

Bezugszeichenliste:

1	Rohrabschnitt
110	Kollektor
111	Elektrode, Platte
112	Hochspannungselektrode
113	Elektrode
114	Durchführung
115	Hochspannung
116	Sperrgas
117	Stutzen
118	Stutzen
119	Abwasser
120	Düse, konischer Teil
121	Düse, konischer Teil
122	Elektroden spitze
123	Stellschraube
124	Haltearm
125	Konsole
126	Wand

2	Rohrabschnitt
210	Konsole
211	Träger, Gitter
212	Elektrode, Röhre
213	Stirnplatte
214	Kühlmittel
215	Stutzen
216	Kühlmittel
217	Stutzen
218	Sprühwasser
219	Stutzen
220	Sprühkopf
221	Sprühstrahl
222	Lochplatte

223 Innenwand  
224 Außenwand  
225 Gasstrom  
226 Rohrwand  
227 Strömungsraum  
228 Draufsicht  
229 Spirale, Wendel  
230 Achse  
231 Abwasser  
232 Stutzen  
233

3 Rohrabschnitt

310 Material, Filter  
311 Deckel  
312 Deckel  
313 Konsole  
314 Konsole  
315 Ring, Filterboden  
316 Abwasser  
317 Stutzen  
318 Abwasser  
319 Stutzen  
320 Sprühwasser  
321 Stutzen  
322 Sprühkopf  
323 Gestell, Gitter  
324 Wanne  
325

4 Rohgas, Rohgaseingang

5 Reingas, Reingasausgang

3 Rohrabschnitt

Patentansprüche:

1. Anlage zum elektrostatischen Reinigen von Gas, bestehend aus in Strömungsrichtung:
  - A) einer in einem ersten Rohrabschnitt (1) eingebauten elektrostatischen Ladeeinheit/-gruppe zur Erzeugung einer Koronaentladung, durch die das elektrisch geladene Rohgas (4) hindurchtritt und ein Raumladungsvolumen zur Hauptreinigung bildet,
  - B) einer sich daran in einem zweiten Rohrabschnitt (2) anschließenden Einheit aus einer Gruppe geerdeter Elektroden zur Nachreinigung und
  - C) einer sich daran in einem dritten Rohrabschnitt (3) anschließenden Einheit zur Filterung des durchströmenden Gases zur Restreinigung, wobei  
die im ersten Rohrabschnitt (1) eingebaute elektrostatische Ladeeinheit in Strömungsrichtung folgendermaßen aufgebaut ist:  
ringförmig entlang der Innenwand der Gasleitung sitzt ein Kollektor (110) zum Aufsammeln des Kondenswassers von der stromaufwärts liegenden Innenwand der Gasleitung, über den lichten Querschnitt der Gasleitung sitzt eine geerdete Elektrode (111), die, über einen zentralen Bereich des Querschnitts gleichmäßig oder rotationssymmetrisch zur Achse des Rohrabschnitts verteilt, zu dieser Achse parallele Durchgänge/Düsen hat, die in Strömungsrichtung jeweils einen konisch zusammenlaufenden, dann einen stetig sich anschließenden, kreisringförmigen und schließlich einen sich ebenfalls stetig anschließenden, konisch auseinanderlaufenden Abschnitt hat, über mindestens drei um den Umfang gleichverteilten Durchführungen (124) gehalten, sitzt parallel zu der geerdeten Elektrode (111) zentral ein mit Hochspannung beaufschlagbares Gitter (112), auf dessen Knotenstellen

spitz zulaufende Elektroden (113) in der Struktur der Perforationen/Düsen axial verstellbar stehen, die parallel zur Achse der Gasleitung gerichtet sind und mit ihren Spitzen (122) entgegen der Strömungsrichtung in je einen konisch sich öffnenden Teil (121) der Perforation/Düse ragen, und sich daran im Rohrabschnitt (1) das vorgegebene Volumen mit metallischer Mantelwand zur Ausbildung einer Raumladung anschließt, aus dem die geladenen Verunreinigungen an dieser Mantelwand ablagern, die im zweiten Rohrabschnitt (2) eingebaute Gruppe geerdeter Elektroden (212) folgendermaßen aufgebaut ist: die Gruppe geerdeter Elektroden (212) besteht aus einem Bündel aus einander sich nicht berührenden Röhren (212), die Achsen der Röhren (212) parallel zueinander und zu der des Rohrabschnitts (2) liegen, je eine perforierte Deckplatte (213) mit der Perforationsstruktur des Röhrenbündels (212) sitzt an der strömungszugewandten und strömungsabgewandten Stirn des Pakets, so dass zu jedem Rohr (212) ein freier Zu- und Abgang mit der lichten Weite der Rohre (212) besteht, äquidistant zwischen den beiden Deckplatten (213) geht das Röhrenbündel (212) durch mindestens eine perforierte Platte (222) mit der Perforationsstruktur des Röhrenbündels (212), so dass mindestens zwei Kammern zustande kommen, die zueinander einen Zugang haben, und in der Wand des Rohrabschnitts in den beiden durch die beiden Deckplatten (213) begrenzten Kammern ein Stutzen (215 bzw. 217) zum Zu- bzw. Ausleiten eines Kühlmittels (214 bzw. 216) zum Kühlen der Röhren (212) angebracht ist, auf Konsolen (210) an der Innenwand des Rohrabschnitts (2) ein geerdeter, durchlässiger Träger/geerdetes, durchlässiges Gitter (211) verankert ist, auf dem das zusammengehaltene Paket aus den Röhren (212) steht, der geerdete, durchlässige Träger teilweise Abwasser von den Röhren (212) über einen Stutzen (232) oder mindestens

zwei, gleichmäßig um den Umfang des Rohrabschnitts (2) verteilten Stützen (232) ableitet, und die strömungszugewandte Stirnseite der Gruppe geerdeter Elektroden (212) von der Ladeeinheit einen Abstand von 1, 5- bis 5mal dem Durchmesser D der geerdeten Elektrode (111) hat,

stromaufwärts, vor dem Paket gebündelter Röhren (212) ein von der Rohrleitungswand kommendes Rohr in das Zentrum des Rohrabschnitts (2) ragt, an dessen Ende ein Sprühkopf (220) sitzt, der mit seiner Sprühachse auf der dortigen Achse der Rohrleitung (2) in einer Entfernung zu der Stirn der nachfolgenden Gruppe geerdeter Elektroden (212) sitzt, so dass der Sprühstrahl daraus die strömungszugewandte Stirn des Pakets völlig überdeckt und die Röhren (212) innwändig von abgelegten Verunreinigungen gespült werden können,

die im dritten Rohrabschnitt (3) eingebaute Einheit zur Filterung des durchströmenden Gases folgendermaßen aufgebaut ist:

eine Rohrleitung geht von der Wand des Rohrabschnitts (3) in das Innere, knickt auf der Achse ab, geht durch einen Teil (312) eines strömungszugewandten Filterdeckels (311, 312) hindurch und ragt in den lichten Bereich einer Filtereinrichtung, im Endbereich der Rohrleitung sitzt mindestens ein Sprühkopf (322) zum Besprühen der Innenwand der Filtereinrichtung vom Gaseintritt her,

der Filterdeckel (311, 312) bildet in seinem Zusammenbau eine ringförmige Wanne, deren Öffnung der Gasströmung zugewandt ist,

die Filtereinrichtung besteht aus einem rohrförmigen Gestell/Gehäuse/Käfig (323), um das mantelartig ein poröses Material als Filter in mindestens einer Lage gelegt ist, zwischen der Innenwand des Rohrabschnitts (3) und der Außenwand des Filters (310) besteht ein ringförmiger Freiraum, in den das Gas einströmt und die restlichen

Verunreinigungen vollends ablagert,  
die Filtereinrichtung sitzt mit ihrer strömungsabgewandten Stirn auf einer ringförmigen, an der Wand des Rohrabschnitts (3) befestigten Konsole (314), die gleichzeitig eine ringförmige Wanne zum Auffangen eines Teils des Sprühwassers (320) bildet, das über Stützen in der Wand des Rohrabschnitts (3) abgeleitet wird,  
die Filtereinrichtung (310, 323) samt Filterdeckel (311, 312) zwischen der strömungsabgewandten Konsole (314) und der strömungszugewandten Konsole 313 eingespannt ist.

2. Anlage zum elektrostatischen Reinigen von Gas, bestehend aus in Strömungsrichtung:

- A) einer in einem ersten Rohrabschnitt (1) eingebauten elektrostatischen Ladeeinheit/-gruppe zur Erzeugung einer Koronaentladung, durch die das elektrisch geladene Rohgas (4) hindurchtritt und ein Raumladungsvolumen zur Hauptreinigung bildet,
- B) einer sich daran in einem zweiten Rohrabschnitt (2) anschließenden Einheit aus einer Gruppe geerdeter Elektroden zur Nachreinigung und
- C) einer sich daran in einem dritten Rohrabschnitt (3) anschließenden Einheit zur Filterung des durchströmenden Gases zur Restreinigung,  
wobei  
die im ersten Rohrabschnitt (1) eingebaute elektrostatische Ladeeinheit in Strömungsrichtung folgendermaßen aufgebaut ist:  
ringförmig entlang der Innenwand der Gasleitung sitzt ein Kollektor (110) zum Aufsammeln des Kondenswassers von der stromaufwärts liegenden Innenwand der Gasleitung,  
über den lichten Querschnitt der Gasleitung sitzt eine geerdete Elektrode (111), die, über einen zentralen Bereich des Querschnitts gleichmäßig oder rotationssymme-

trisch zur Achse des Rohrabschnitts verteilt, zu dieser Achse parallele Durchgänge/Düsen hat, die in Strömungsrichtung jeweils einen konisch zusammenlaufenden, dann einen stetig sich anschließenden, kreisringförmigen und schließlich einen sich ebenfalls stetig anschließenden, konisch auseinanderlaufenden Abschnitt hat, über mindestens drei um den Umfang gleichverteilten Durchführungen (124) gehalten, sitzt parallel zu der geerdeten Elektrode (111) zentral ein mit Hochspannung beaufschlagbares Gitter (112), auf dessen Knotenstellen spitz zulaufende Elektroden (113) in der Struktur der Perforationen/Düsen axial verstellbar stehen, die parallel zur Achse der Gasleitung gerichtet sind und mit ihren Spitzen (122) entgegen der Strömungsrichtung in je einen konisch sich öffnenden Teil (121) der Perforation/Düse ragen, und sich daran im Rohrabschnitt (1) das vorgegebene Volumen mit metallischer Mantelwand zur Ausbildung einer Raumladung anschließt, aus dem die geladenen Verunreinigungen an dieser Mantelwand ablagern, die im zweiten Rohrabschnitt (2) eingebaute Gruppe geerdeter Elektroden (212) folgendermaßen aufgebaut ist: die Gruppe geerdeter Elektroden (212) besteht aus einem Bündel ungeordneter, paralleler, einander sich nicht berührender oder nicht berührender Röhren (212), die auf einem geerdeten, durchlässigen Träger/Gitter (211) sitzen und positioniert verankert sind, der geerdete, durchlässige Träger teilweise Abwasser von den Röhren (212) über einen Stutzen (232) oder mindestens zwei, gleichmäßig um den Umfang des Rohrabschnitts (2) verteilten Stutzen (232) ableitet, und die Wandstärke  $d_{ws}$  der Röhren (212) aufgrund der Gleichbelastung von innen und außen, auf den Röhrendurchmesser  $D_2$  bezogen, im Bereich dünn ist und im Bereich

$$0,01 D_2 < d_{ws} < 0,1 D_2,$$

liegt, die strömungszugewandte Stirnseite der Gruppe geerdeter Elektroden (212) von der Ladeeinheit einen Abstand von 1, 5- bis 5mal dem Durchmesser D der geerdeten Elektrode (111) hat,

stromaufwärts, vor dem Paket gebündelter Röhren (212) ein von der Rohrleitungswand kommendes Rohr in das Zentrum des Rohrabschnitts (2) ragt, an dessen Ende ein Sprühkopf (220) sitzt, der mit seiner Sprühachse auf der dortigen Achse der Rohrleitung (2) in einer Entfernung zu der Stirn der nachfolgenden Gruppe geerdeter Elektroden (212) sitzt, so dass der Sprühstrahl daraus die strömungszugewandte Stirn des Pakets völlig überdeckt und die Röhren (212) innwändig von abgelegten Verunreinigungen gespült werden können, die im dritten Rohrabschnitt (3) eingebaute Einheit zur Filterung des durchströmenden Gases folgendermaßen aufgebaut ist:

eine Rohrleitung geht von der Wand des Rohrabschnitts (3) in das Innere, knickt auf der Achse ab, geht durch einen Teil (312) eines strömungszugewandten Filterdeckels (311, 312) hindurch und ragt in den lichten Bereich einer Filtereinrichtung, im Endbereich der Rohrleitung sitzt mindestens ein Sprühkopf (322) zum Besprühen der Innenwand der Filtereinrichtung vom Gaseintritt her,

der Filterdeckel (311, 312) bildet in seinem Zusammenbau eine ringförmige Wanne, deren Öffnung der Gasströmung zugewandt ist,

die Filtereinrichtung besteht aus einem rohrförmigen Gestell/Gehäuse/Käfig (323), um das mantelartig ein poröses Material als Filter in mindestens einer Lage gelegt ist, zwischen der Innenwand des Rohrabschnitts (3) und der Außenwand des Filters (310) besteht ein ringförmiger Freiraum, in den das Gas einströmt und die restlichen Verunreinigungen vollends ablagert,

die Filtereinrichtung sitzt mit ihrer strömungsabgewandten Stirn auf einer ringförmigen, an der Wand des Rohrabschnitts

(3) befestigten Konsole (314), die gleichzeitig eine ringförmige Wanne zum Auffangen eines Teils des Sprühwassers (320) bildet, das über Stutzen in der Wand des Rohrabchnitts (3) abgeleitet wird, die Filtereinrichtung (310, 323) samt Filterdeckel (311, 312) zwischen der strömungsabgewandten Konsole (314) und der strömungszugewandten Konsole 313 eingespannt ist.

3. Anlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das mit Hochspannung beaufschlagbare Gitter (112) über seine Durchführungen (124) in seiner Ebene und senkrecht dazu justierbar ist, wobei die Durchführungen (124) zur Sicherung der Isolationsfestigkeit über je einen Gasstutzen (117) mit einem Sperrgas (116) beströmt werden können.
4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Gitter über mindestens eine Durchführung (124) an eine Hochspannungsquelle angeschlossen ist.
5. Anlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Röhren (212) aus metallischem oder nicht metallischem Material sind und die Oberfläche derselben aus dem Paket von Elektroden (212) außen und/oder innen vergrößert ist.
6. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Röhren (212) Wellmantelrohre sind.
7. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass in den Kammerräumen außen auf den Röhren Ringscheiben gut wärmeleitend aufgezogen sind.
8. Anlage nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 und 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in den Röhren (212) je eine Einrichtung (229) zur Strömungslenkung eingebaut ist, die

der Gasströmung eine wendelförmige Bewegung aufzwingt.

9. Anlage nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 und 3 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass von dem Stutzen (217), dem Ausgang des in dem Rohrenpaket erwärmten Kühlmittels (216) eine Rohrleitung zu einem Reservoir des Sperrgases führt.
10. Verfahren zum elektrostatischen Reinigen von Gas mit einer Anlage gemäß den Ansprüchen 1 bis 9, bestehend aus den Schritten:
  - A) vor Einleiten des Gases in die Anlage wird dasselbe gekühlt und mit Wasserdampf gesättigt;
  - B) der Gasstrom (4) wird an einem Kondensatkollektor (110) vorbei durch eine mit Düsen mit jeweils einem engen Mittelstück versehene, geerdete Platte (111) geströmt, um sich danach in einen jeweils konisch Öffnenden Ausgangsbereich der Düse in je einen Elektrodenzwischenraum, der aus dem jeweiligen Düsenausgang und einer dahineinragenden Hochspannungselektroden spitze (122) gebildet wird, zu expandieren, in dem in einer Koronaentladung im Gasstrom mitgenommene Aerosolpartikel elektrostatisch geladen werden, die ein ab der mit Hochspannung beaufschlagbaren Elektrode (112) stromabwärtiges Volumen als Raumladung füllen, aus dem hauptsächlich über elektrostatische Abstoßung gleichnamig geladener Partikel und thermische Bewegung dieselben an der durch die Befeuchtung elektrisch leitfähigen, geerdeten Mantelinnenwand (2) neutralisiert und abgelagert werden,
  - C) Weiterführen des Gasstroms durch ein an Erdpotential gelegtes Paket hohler Röhren (212), das auf einem geerdeten Träger/Gitter (211) steht, auf deren Innenwand sich im Gasstrom verbliebene, elektrisch geladene Partikel anlagern, wobei das Röhrenpaket (212) durch je eine Scheibe an der Stirn, mindestens eine Stützscheibe da-

zwischen und die anliegende Wand des Rohrabschnitts (2) ein mit Kühlmittel (214/216) durchströmbares Kammersystem bildet, das von den Röhren (212) von deren Außenwand Wärme abnimmt,

Weiterführen des Gasstromes in den Ringbereich zwischen einer rohrförmigen Filtereinrichtung (310/323) und der Wand des Rohrabschnitts (3) und Strömen des Gasstromes durch das Filter aus einem porösen Material (310), wobei die schließlich noch im Gasstrom verbliebenen Partikel vollends auf dem porösen Material abgelegt werden, um über innwändiges kontinuierliches oder periodisches Ansprühen des Filters über Sprühköpfe (322) daraus ausgespült, über eine ringförmige Wanne (314), in der das Filter steht, aufgesammelt und über einen daran angeschlossenen Stutzen (317) angeleitet zu werden, schließlich Ausleiten des gereinigten, elektrisch neutralen Gases (5) durch die zentrale Bodenöffnung des Filters in die stromabwärts davor liegende Umgebung.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Querschnittsstruktur des Röhrenpakets (212) der Gasströmung zugewandte durchlöchernte Stirnscheibe zur Reinigung der Röhreninnenwände über einen davor sitzenden Sprühkopf (220), diese Stirnseite voll abdeckend, periodisch mit Wasser besprüht wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der durch das Paket der Röhren strömende Gasstrom durch Durchströmen eines Kühlmittels durch den Röhrenzwischenraum gekühlt wird und sich geladene Partikel auf der jeweiligen Röhreninnenwand ablagern und entladen.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom innerhalb der Röhren (212) durch eine eingebaute spiralförmige Einrichtung (229) zu einer Drehbewegung ge-

zwungen wird und die mitgenommen Partikel beim Durchgang dadurch zentrifugale Kräfte erfahren, die sie an die Innenwand der Röhren (212) drängen, ablagern und, da das Paket über den Träger (211) geerdet ist, elektrisch neutralisieren.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das ausgeleitete, erwärmte Kühlmittel (216) über eine Rohrleitung zu einem Reservoir des Sperrgases geleitet wird und diese darin über einen Wärmetauscher erwärmt, oder dass das ausgeleitete Kühlmittel, falls gasförmig, direkt als Sperrgas verwendet wird.
15. Verfahren zum elektrostatischen Reinigen von Gas mit einer Anlage gemäß den Ansprüchen 2 bis 4, bestehend aus den Schritten:
  - A) vor Einleiten des Gases in die Anlage wird dasselbe gekühlt und mit Wasserdampf gesättigt;
  - B) der Gasstrom (4) wird an einem Kondensatkollektor (110) vorbei durch eine mit Düsen mit jeweils einem engen Mittelstück versehene, geerdete Platte (111) geströmt, um sich danach in einen jeweils konisch Öffnenden Ausgangsbereich der Düse in je einen Elektrodenzwischenraum, der aus dem jeweiligen Düsenausgang und einer dahineinragenden Hochspannungselektroden spitze (122) gebildet wird, zu expandieren, in dem in einer Koronaentladung im Gasstrom mitgenommene Aerosolpartikel elektrostatisch geladen werden, die ein ab der mit Hochspannung beaufschlagbaren Elektrode (112) stromabwärtiges Volumen als Raumladung füllen, aus dem hauptsächlich über elektrostatische Abstoßung gleichnamig geladener Partikel und thermische Bewegung dieselben an der durch die Befeuchtung elektrisch leitfähigen, geerdeten Mantelinnenwand (2) neutralisiert und abgelagert werden, Weiterführen des Gasstroms durch ein an Erdpotential ge-

legtes Paket hohler Röhren (212), das auf einem geerdeten Träger/Gitter (211) steht, auf deren Innen- und Außenwand sich im Gasstrom verbliebene, elektrisch geladene Partikel anlagern, neutralisiert und abgespült werden,

Weiterführen des Gasstromes in den Ringbereich zwischen einer rohrförmigen Filtereinrichtung (310/323) und der Wand des Rohrabschnitts (3) und Strömen des Gasstromes durch das Filter aus einem porösen Material (310), wobei die schließlich noch im Gasstrom verbliebenen Partikel vollends auf dem porösen Material abgelegt werden, um über innwändiges kontinuierliches oder periodisches Ansprühen des Filters über Sprühköpfe (322) daraus ausgespült, über eine ringförmige Wanne (314), in der das Filter steht, aufgesammelt und über einen daran angeschlossenen Stutzen (317) angeleitet zu werden, schließlich Ausleiten des gereinigten, elektrisch neutralen Gases (5) durch die zentrale Bodenöffnung des Filters in die stromabwärts davor liegende Umgebung.

Zusammenfassung:

Die Anlage zur Reinigung eines Gases besteht aus drei Abschnitten:

1. dem Ionisierungs- und Hauptreinigungsabschnitt für das wassergesättigte Rohgas aus einer der Ionisierungseinrichtung für die Verunreinigungspartikel folgenden Raumladungszone,
2. dem Nebenreinigungsabschnitt aus einer Zone geerdeter Hohl Elektroden und
3. der abschließenden Feinreinigung in einer Filtereinrichtung nach der das Reingas in die davor liegende Umgebung abgeleitet wird.

Die Ionisierung der Partikel folgt in einer Koronaentladung. Anfallendes, mit abgeschiedenen Partikeln aus den drei Zonen wird aufgefangen und gereinigt und dem Gasreinigungsprozess wieder zugeführt. Das beim Durchströmen der Röhrenzwischenräume anfallende erwärmte Kühlmittel kann zur Erwärmung des Sperrgases für die Isolation der Halterungen und damit der mindestens einen Hochspannungsdurchführung verwendet werden.

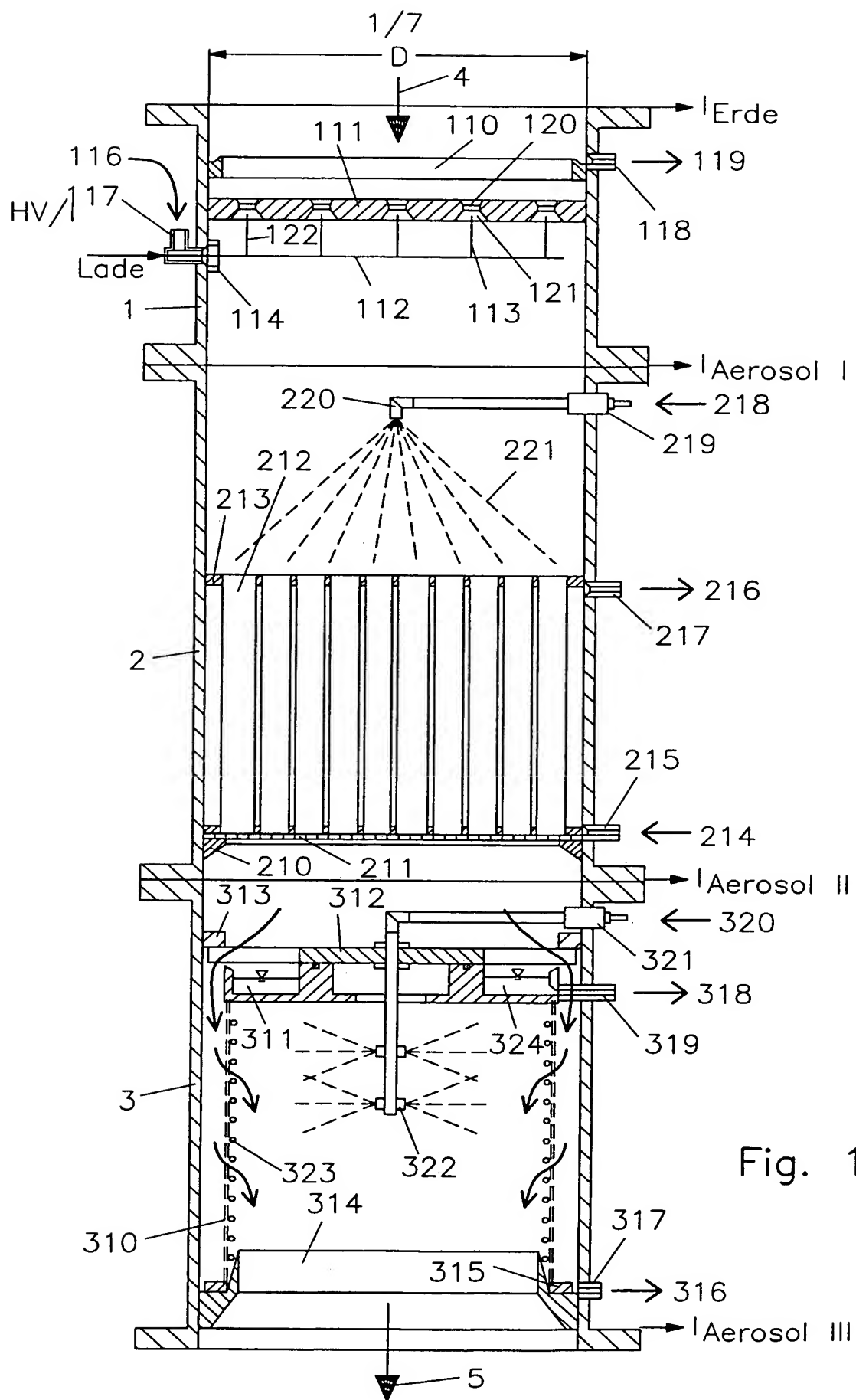


Fig. 1

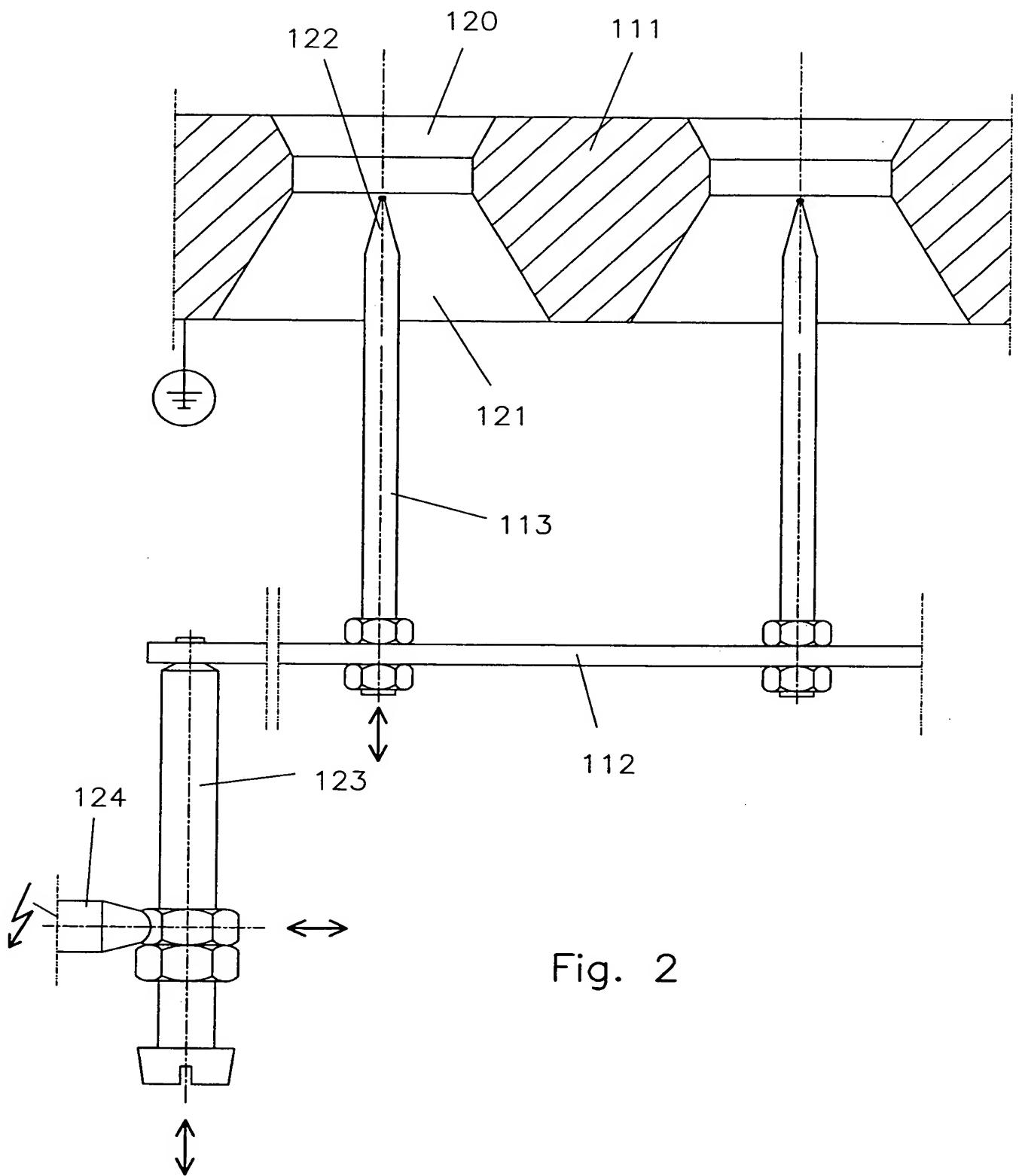


Fig. 2

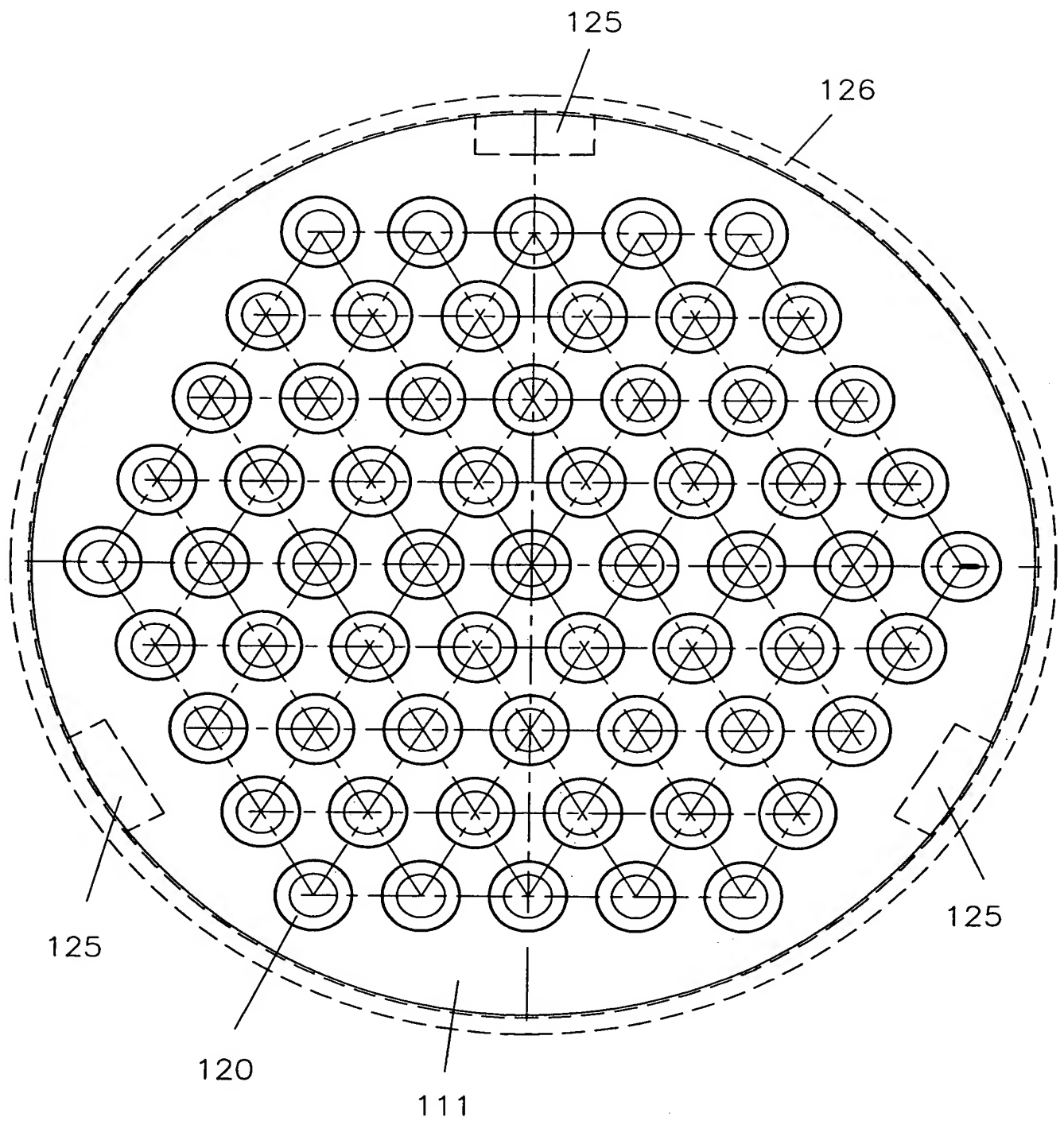


Fig. 3

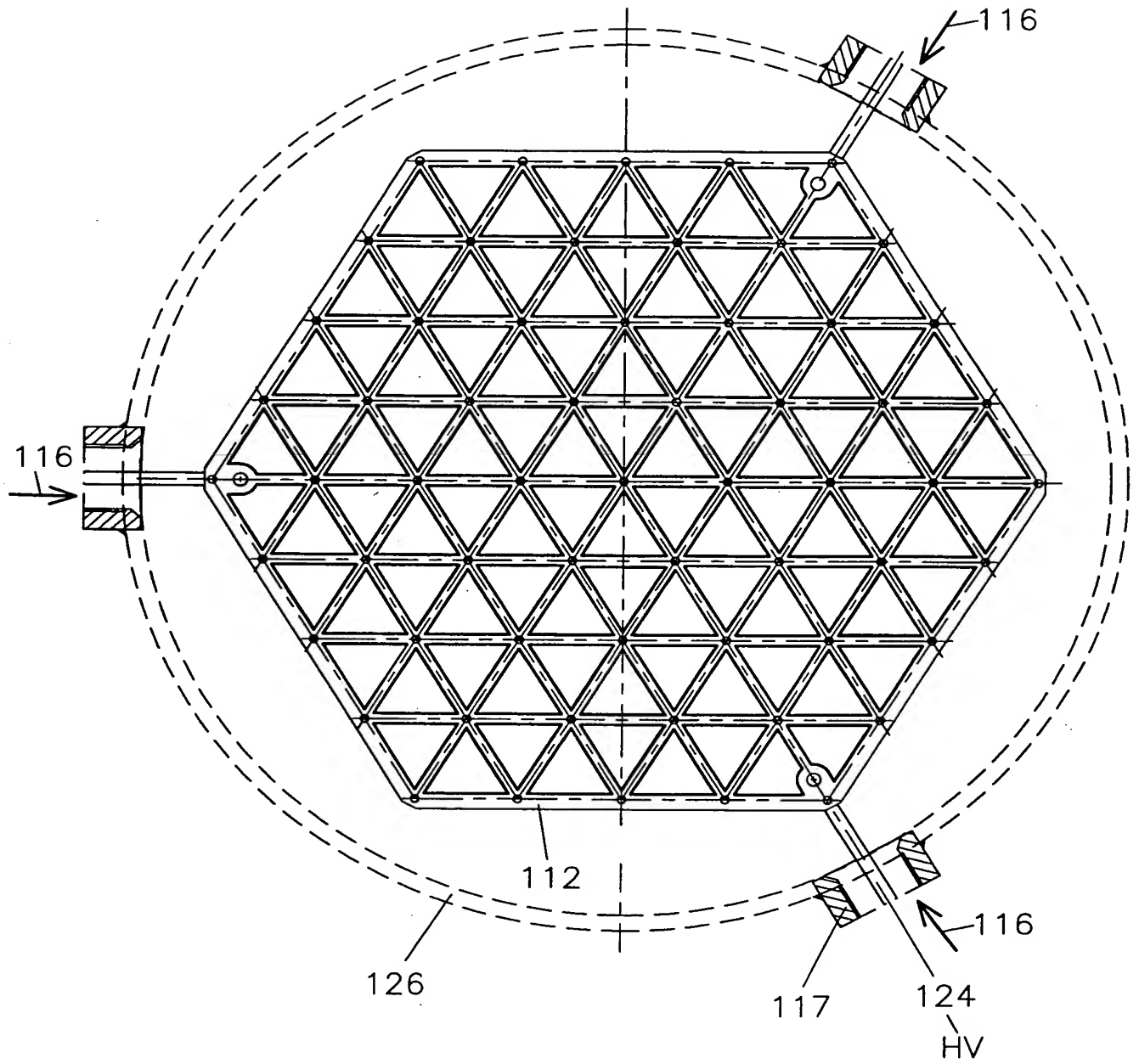


Fig. 4

5/7

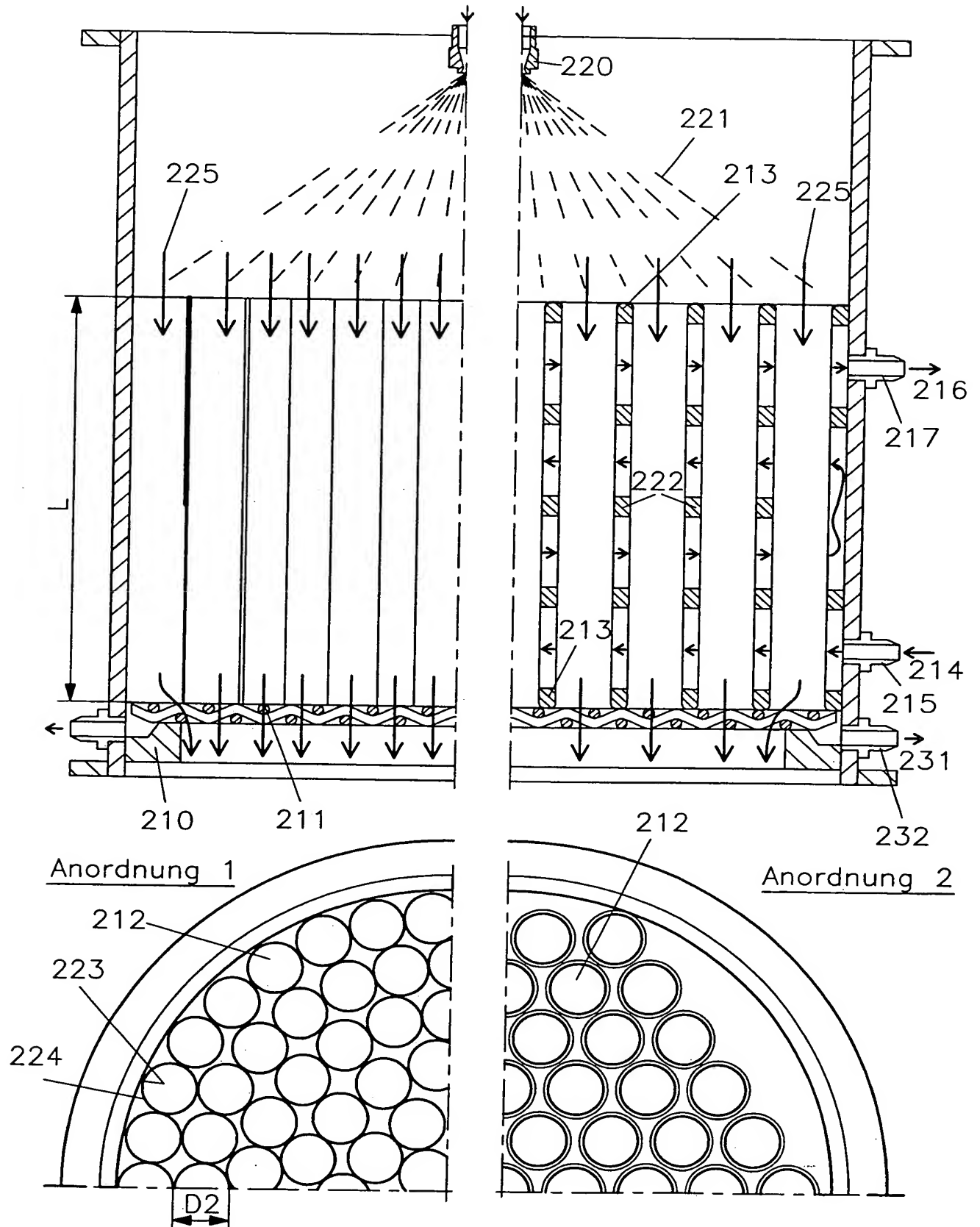


Fig. 5

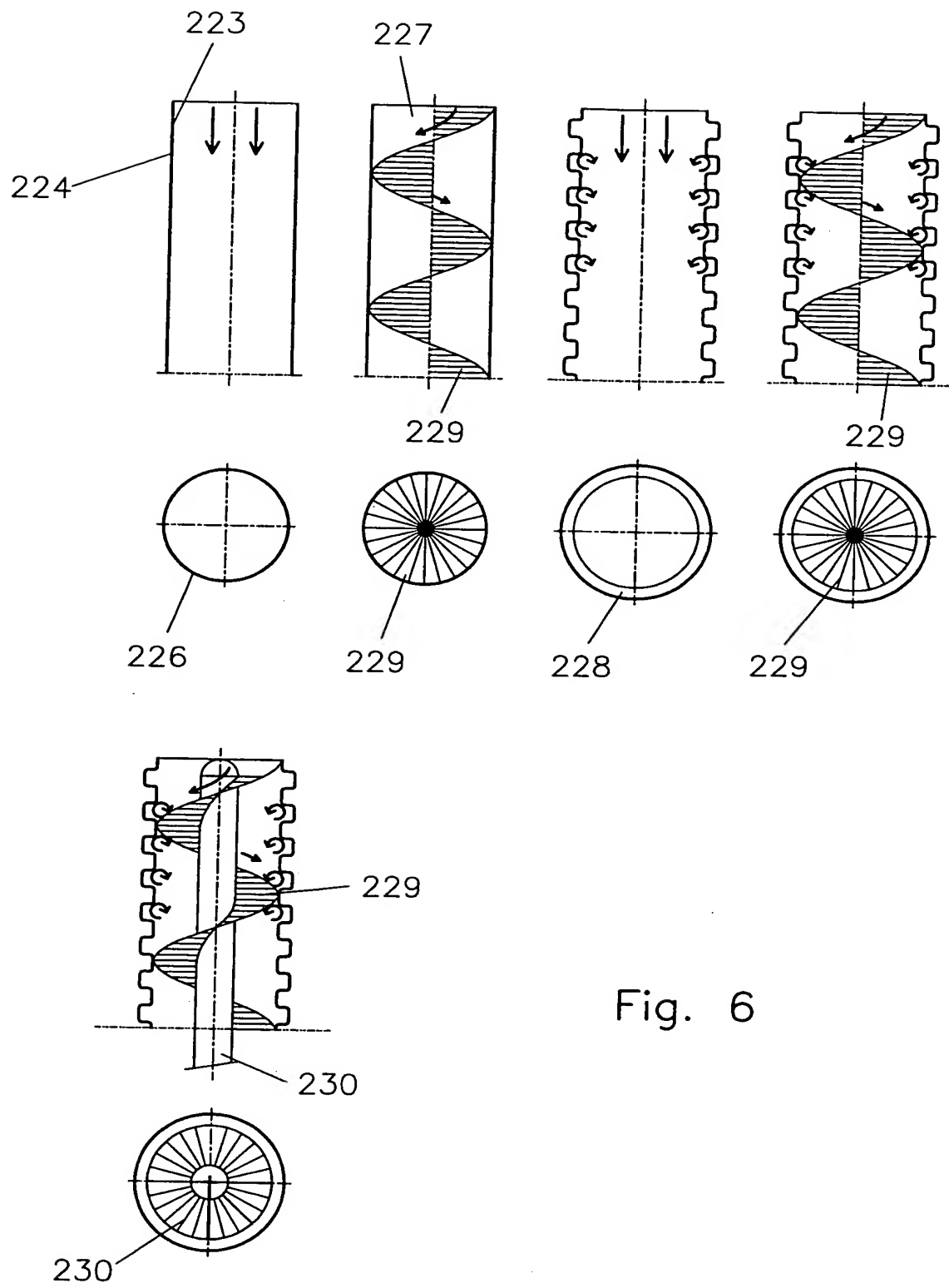


Fig. 6

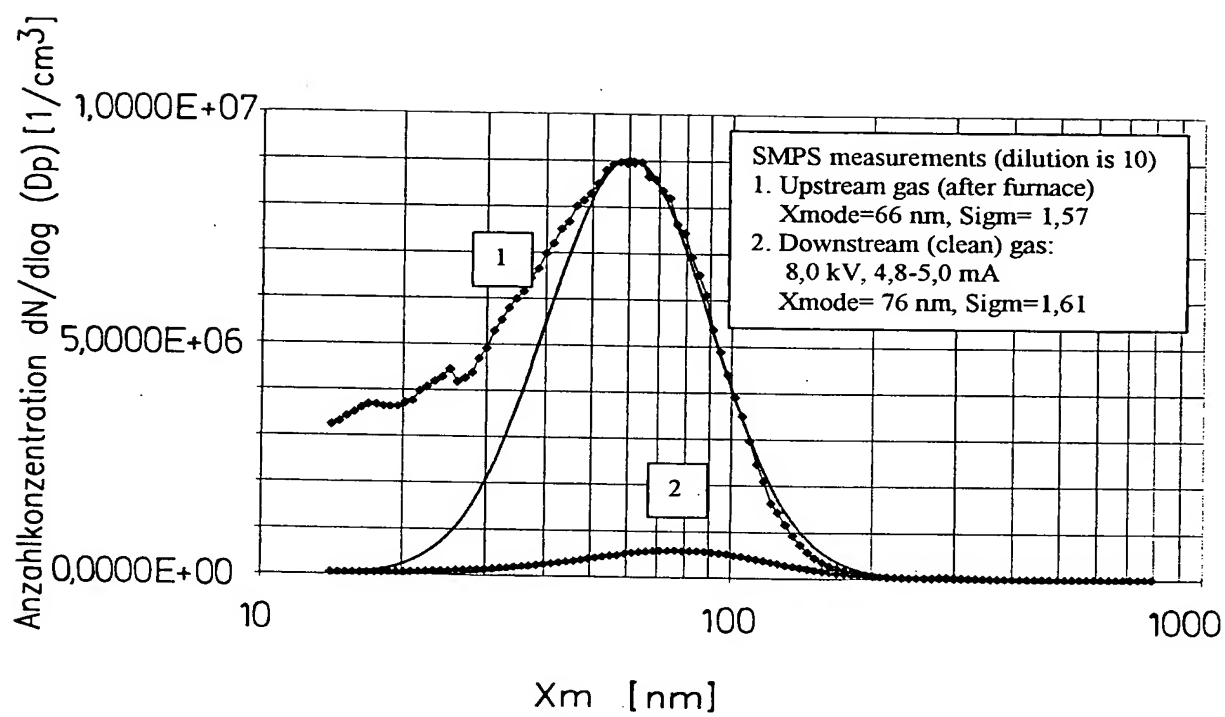


Fig. 7